

A²/O 工艺 DO 的空间分布及控制品质评价指标研究

张荣兵¹, 文 洋¹, 鲍海鹏¹, 范岳峰², 马 刚²

(1. 北京市排水集团 清河污水处理厂, 北京 100044; 2. 上海昊沧系统控制技术有限责任公司, 上海 201103)

摘 要: 在运行 A²/O 工艺的污水厂中实地研究了溶解氧的空间分布规律, 探讨性地提出了溶解氧的空间分布原则以及两种评价溶解氧控制品质的指标, 并对溶解氧的设定进行了优化; 同时, 提出并验证了两种有效的溶解氧控制品质评价指标, 据此改进了溶解氧控制策略, 提高了溶解氧控制效果。

关键词: 污水处理; A²/O 工艺; 溶解氧; 空间分布; 溶解氧控制品质评价指标

中图分类号: X703 **文献标识码:** C **文章编号:** 1000-4602(2009)09-0070-05

DO Spatial Distribution and Evaluation Indicators for DO Control Quality in A²/O Process

ZHANG Rong-bing¹, WEN Yang¹, BAO Hai-peng¹, FAN Yue-feng², MA Gang²

(1. Qinghe Sewage Treatment Plant Beijing Drainage Group Co. Ltd., Beijing 100044, China;

2. Shanghai HC System Control Technology Co. Ltd., Shanghai 201103, China)

Abstract: The DO spatial distribution rule was studied in a WWTP using A²/O process. The DO spatial distribution principle and two evaluation indicators for DO control quality were put forward, and the setting of DO was optimized. The two evaluation indicators for DO control quality were verified. Based on the above, the control strategy of DO is improved, and the control effect of DO is increased.

Key words: wastewater treatment; A²/O process; DO; spatial distribution; evaluation indicators for DO control quality

随着仪表、控制和自动化技术的不断发展, 污水厂在线仪表得以推广使用, 溶解氧仪表目前已经在大多数污水厂得到应用^[1]。由于对溶解氧的空间分布规律缺乏了解, 溶解氧设定还停留在经验假设阶段; 同时缺乏有效的溶解氧控制品质评价指标, 致使在线溶解氧仪表无法用于在线控制。A²/O 工艺中, 生化反应池为推流式, 推流沿程具有不同的溶解氧设定需求, 合理的溶解氧空间分布与设定直接影响着出水水质和运行能耗^[2]。此外, 对溶解氧控制品质进行有效、准确的评价能够帮助提高控制策略的精度。笔者在运行 A²/O 工艺的污水厂中实地研究了溶解氧的空间分布规律, 并对溶解氧设定进行了优化; 同时, 提出并验证了两种有效的溶解氧控制

品质评价指标, 据此改进了溶解氧控制策略, 提高了溶解氧控制效果。

1 试验条件与方法

本次试验选定在北京清河污水厂进行, 该厂分两期建设, 处理能力均为 $20 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$; 一期采用倒置 A²/O 工艺, 二期采用 A²/O 工艺; 二期共设 E、F、G 和 H 四组平行运行的反应池, 每组反应池处理能力为 $5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。选择二期 H 池进行溶解氧空间分布规律探测及溶解氧控制品质评价试验。二期工艺流程见图 1。

H 池的平面结构以及溶解氧仪的安装位置如图 2 所示, 其中好氧区 1、好氧区 2、好氧区 3 均可独立控制其曝气量, 三个溶解氧仪均为膜法探头。

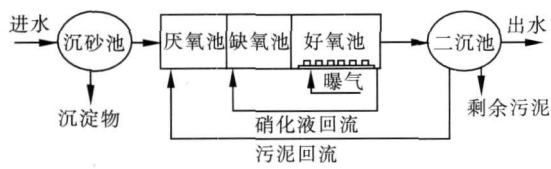


图 1 清河污水厂二期工艺流程

Fig 1 Flow chart of phase 2 process of Qinghe WWTP

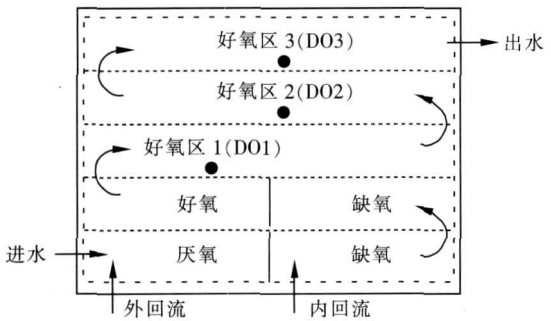


图 2 H池在线溶解氧仪布局

Fig 2 Distribution of DO meters in tank H

在本次试验中,对 3 个好氧区的溶解氧进行独立控制,持续时间为 6 个月;期间研究了溶解氧的空间分布规律,并对溶解氧的控制品质评价指标进行了研究。

2 溶解氧的空间分布

在 A²/O 工艺中,生化反应池为推流式,沿程具有不同的溶解氧设定需求;同时,溶解氧在水深方向也具有沿高程分布规律。通过研究溶解氧沿高程的分布规律和推流沿程设定需求来优化溶解氧的设定。

2.1 溶解氧沿高程分布

污水厂在线溶解氧仪的探头一般深入水下 1 m 左右,所测量的只是插入点处的溶解氧值,无法有效反映整个横截面上的溶解氧分布情况。如果能够掌握横截面上的溶解氧分布趋势,将为更合理地设定溶解氧提供依据。

本次试验在 H 池中沿推流方向选择了 4 个测量位置 (DO1、DO2、DO3、DO4),每个测量点沿高程选择 5 个测量点 (0、-1.5、-3.0、-4.5、-6 m)并使用手持仪表进行溶解氧沿高程趋势检测 (见图 3)。表 1 记录了生化池中不同位置及不同深度情况下采用手持溶氧仪测量的结果,可以明显发现溶解氧在生化池内的不同空间呈现出一定分布趋势。

由表 1 可知,溶解氧沿池深呈递减趋势,沿池长则无明显规律。需要说明的是:沿池长的曝气量受

到曝气立管开度的限制,而且通过后期试验验证,DO1、DO2、DO3 处的溶解氧是可以分别给定设定值并独立控制的。溶解氧沿深度的单调递减在后续试验中得到证实。

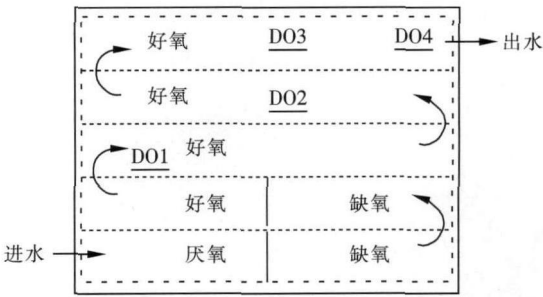


图 3 H池溶解氧手持测量点分布

Fig 3 Distribution of DO measurement points in tank H

表 1 H池溶解氧沿池深分布

Tab 1 DO distribution along depth of tank H

深度 /m	DO1 / (mg · L ⁻¹)	DO2 / (mg · L ⁻¹)	DO3 / (mg · L ⁻¹)	DO4 / (mg · L ⁻¹)
0.1	1.09	0.67	1.38	1.76
1.5	0.93	0.58	0.99	1.55
3.0	0.93	0.48	0.72	1.50
4.5	0.82	0.39	0.63	1.34
6.0	0.70	0.29	0.48	0.74

有了对溶解氧截面分布规律的掌握,溶解氧的设定不再局限于溶解氧探头的点测数值,而是以整个截面的有效均值为依据,提高了溶解氧设定的合理性。

2.2 溶解氧的沿程分布

在污水厂常见的溶解氧控制中,在给定设定值时总是隐含了一个假设条件:曝气池是均质的完全混合池,而实际情况并非如此,特别是在连续流的工艺中。比如 A²/O 工艺,其好氧段占整个工艺段的长度比例较高,推流沿程分布变化较大,某一个特定的溶解氧设定值无法代表整个好氧段的溶解氧分布需求。

在 A²/O 工艺中,推流沿程好氧段一般可以分为充氧段、维持段和出水段三部分 (见图 4),各段的溶解氧设定需求各不相同^[3]。

充氧段的目的是使从缺氧段流入的混合液快速增氧,需要较大的曝气量供给;维持段的目的是维持氧的供给和消耗的平衡,需要对氧扩散和消耗的动态过程有准确的把握;出水段溶解氧设定除了考虑生化过程的消耗以外,还需考虑到防止污泥氧化过

度而不易沉降,如果内回流带有较高的溶解氧则不利于反硝化过程,所以维持较低的溶解氧设定是合适的。经验证,一般情况下充氧段的曝气量占总气量的 40%~60%,维持段占 20%~30%,出水段占 10%~20%即可满足各段溶解氧设定的需求。

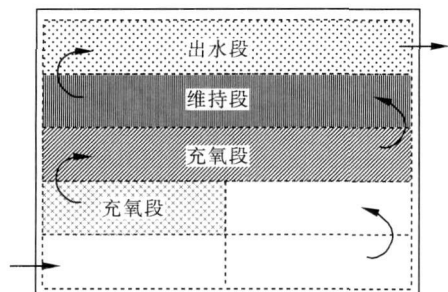


图 4 H池溶解氧需求分布

Fig 4 Distribution of DO requirement in tank H

试验期间,按照上述溶解氧推流沿程分布理论对 H池的好氧段进行了溶解氧分布设定试验。试验持续两周,分 5 组进行;每组中充氧段、维持段和出水段的溶解氧设定值各不相同,均按照各段溶解氧设定需求对曝气量进行控制;按照溶解氧推流沿程分布规律,在不同试验组中,对各段的溶解氧设定进行了寻优探测,最终找到了既能满足生化反应需求又可节约能耗的溶解氧设定。

3 溶解氧控制品质评价

由于认识到了溶解氧随池深的分布规律,设定溶解氧的时候不再单—根据在线溶解氧探头的测量值,而是依据整个横截面的溶解氧分布趋势进行设定。如此,好氧段的溶解氧设定将更趋于合理。

溶解氧是生物处理的关键控制因素,其控制品质的优劣直接影响生物处理的效果^[4];实际运行中,由于溶解氧控制的滞后性及存在各种扰动,造成溶解氧波动较大;如能准确评估溶解氧的控制效果并据其修订控制策略,将会大大提高溶解氧的控制品质。本次试验中,使用了两种溶解氧控制品质评价指标,帮助优化溶解氧控制策略。

3.1 溶解氧信号特征

污水厂在线溶解氧仪探头长时间处于恶劣工况之下,加之传感器容易受到各种随机扰动,使得测量结果会受到很多因素的干扰。图 5 是在采样率为 5 s 的情况下所绘制的在线溶解氧测量值随时间的变化,图中部分区域进行了放大处理,可以发现测量值实际上是呈离散分布的。

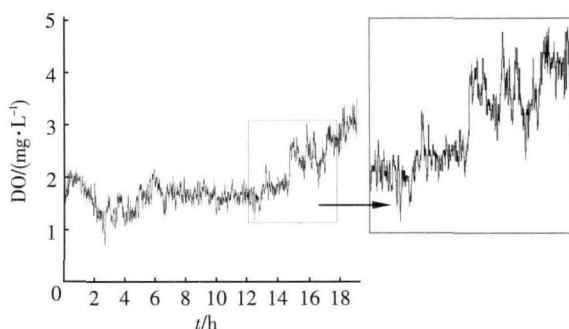


图 5 溶解氧随时间的变化

Fig 5 Variation of DO with time

图 6 显示的是 DO 对时间的导数,即 DO 的变化率,是以 1 m in 为单位的变量,变化范围绝对值为 (0.05 mg/L)。图 7 是以 3 m in 为单位的变量,变化范围的绝对值为 (0.08 mg/L)。这些指标表明,在工艺控制中,溶解氧是一个变化迅速的指标,在短时间内的可能变化范围远远超过 ± 0.2 mg/L 的水平。

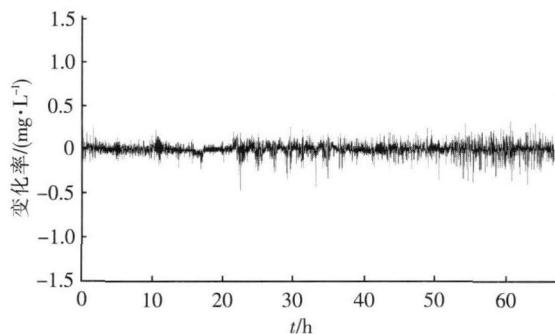


图 6 溶解氧信号时间变化率 (1 m in)

Fig 6 Change rate of DO signal (1 m in)

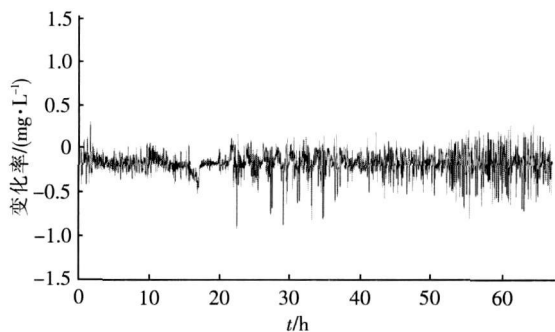


图 7 溶解氧信号时间变化率 (3 m in)

Fig 7 Change rate of DO signal (3 m in)

如能对溶解氧的控制品质进行量化评估,便可据此优化溶解氧控制策略。试验中,采用稳定性和离散度来评估溶解氧控制品质。

3.2 稳定度判据

稳定度判据是以在线溶解氧值在目标范围内出现的概率来衡量的。例如指标 DK2用来描述 DO在线值在规定时间内出现在目标值 (±0.2 mg/L)范围内的概率。类似的可以提出指标 DK5、DK10, 即分别描述 DO在线值在规定时间内出现在目标值 (±0.5 mg/L和 ±1.0 mg/L)范围内的概率。经验计算公式为:

$DK2 = \sum_{i=1}^n P(|DO_i - DO_{SET}| \leq 0.2)$ (1)

$DK5 = \sum_{i=1}^n P(|DO_i - DO_{SET}| \leq 0.5)$ (2)

$DK10 = \sum_{i=1}^n P(|DO_i - DO_{SET}| \leq 1.0)$ (3)

上式中 n为样本数量, i为第 i个样本的标记。采用稳定度判据时需要有较大的样本数量, 通常推荐采纳连续 10 d以上的数据, 建议采样率≥200个点/h。

图 8为某次试验中的 DO控制数据, 控制的目标值为 1.0 mg/L, 该图连续记录了在线 DO仪的读数, 该溶解氧控制策略根据稳定度和离散度判据不断修正, 最终 DO读数连续在 1.0 mg/L附近波动, 明显受控。

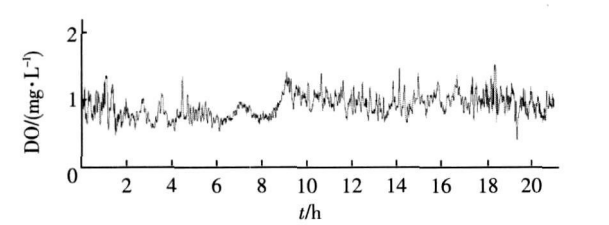


图 8 溶解氧在线监测数据

Fig 8 DO signal from online DO meter

图 9为该次试验的稳定度判据计算结果。图中 DK2最终稳定在 60%的水平上, DK5、DK10则几乎处于 100%的水平。

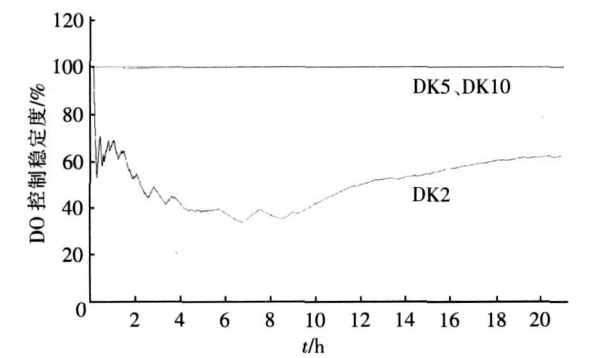


图 9 溶解氧稳定度判定指标曲线

Fig 9 Evaluation indicators for DO control quality

由图 9可知, 在连续超过 20 h的运行时间内, 超过 60%的时间 DO处于目标值 (±0.2 mg/L)范围内, 几乎 100%的时间内 DO处于目标值 (±0.5 mg/L和 ±1.0 mg/L)的范围内。

在长时间的运行中, 建议的稳定度指标如表 2所示 (适用于连续流工艺)。运行时间越长则该值越稳定。

表 2 DO控制稳定度判据的建议标准

Tab 2 Proposed evaluation indicators for DO control quality

指 标	DK2	DK5	DK10
判据标准	0.30	0.55	0.80

3.3 离散度判据

离散度判据是通过衡量在线 DO值距离控制目标的离散程度来判断控制水平的指标。DO仪在工作时是通过 PLC的 IO采集模块获取溶氧探头的传感器数据, 该数据从形式上表现为一定时间间隔 (采样周期)的离散数据。此处对测量过程的误差不做讨论, 用测量值距离目标值的标准偏差来衡量控制的离散度, 该值越大表示偏离的程度越大。

判断离散度的经验计算公式为:

$\sigma(DO_{SET}) = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (DO_i - DO_{SET})^2}$ (4)

以图 8的 DO变化曲线为例, 总样本为 4 716, 标准偏差为 0.203 2。该值综合了平均值偏差和离散化分布的偏差之和, 可以作为定量的评价指标。采用该判据时需要注意的是应该采用相同样本数量情况下的偏差进行比较。样本量为 2 000时建议采用的偏差值为 0.35~0.5。

3.4 判据应用示例

分别对采用精确曝气控制前后两种模式下的两个溶解氧信号进行了稳定度计算, 发现在传统控制模式下, 溶解氧的稳定度和离散度都无法达到理想状态; 采用精确曝气控制之后, 稳定度和离散度得到极大的改善, 从溶解氧的稳定和离散度来看, 精确曝气控制有利于溶解氧控制水平的提高。

3.4.1 传统控制手段下的溶解氧指标

图 10为试验组某台溶解氧仪表在传统控制手段下的溶解氧在线测量数据曲线, 样本量为 13 765, 控制目标值为 2.5 mg/L, 与之对应的稳定度判据曲线见图 11, 其中 DK2、DK5和评估值偏差较大, 不能满足表 2中的稳定度判据要求。离散度为 0.647 5, 也不能满足要求。

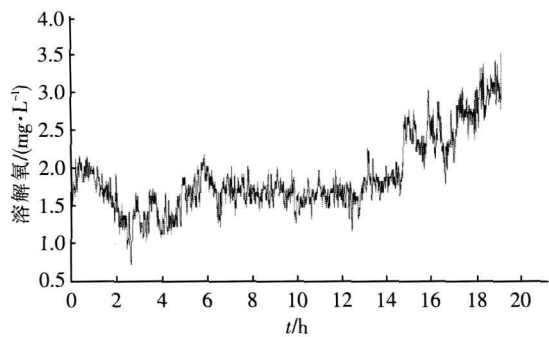


图 10 H池溶解氧信号 A307

Fig 10 DO signal A307 in tank H

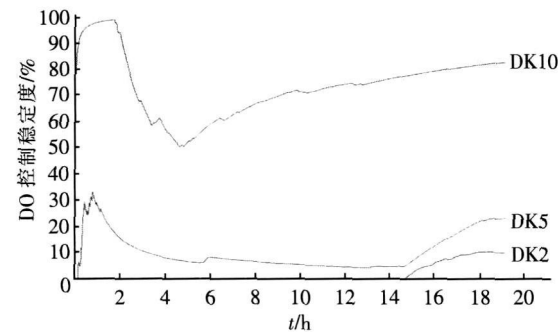


图 11 溶解氧 A307稳定度判定指标曲线

Fig 11 Evaluation indicators for control quality of signal A307

3.4.2 AVS精确控制模式下的溶解氧指标

图 12为试验组 A 的溶解氧受控在线测量数据曲线,是采用 AVS精确曝气系统后的实测曲线,样本量为 12 913,控制目标值为 2.0 mg/L。与此对应的稳定度判据曲线见图 13, DK2、DK5、DK10均可满足表 2 中的稳定度判据要求。对应的离散度判据结果为 0.334 0,满足离散度判据的要求。

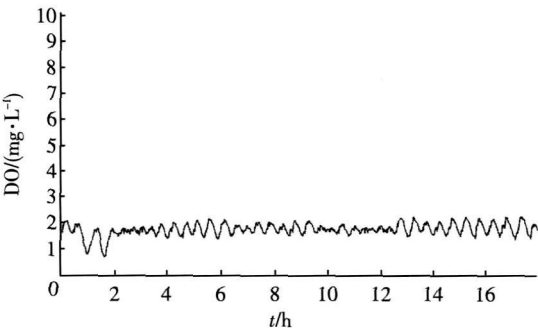


图 12 H池溶解氧信号 A308

Fig 12 DO signal A308 in tank H

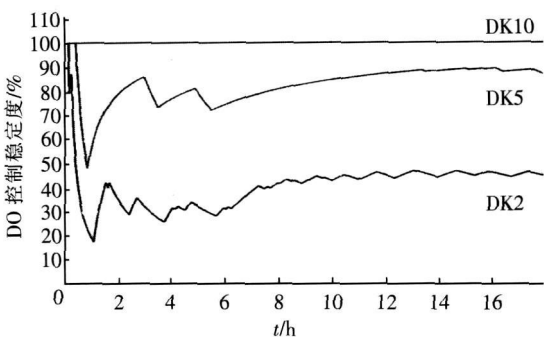


图 13 溶解氧 A308稳定度判定指标曲线

Fig 13 Evaluation indicators for control quality of signal A308

4 结论

在 A²/O 工艺的好氧段,按照不同工段实际生化反应需要,溶解氧在推流沿程上具有不同的设定需求。在出水安全的限制条件下,探测了清河厂 H 池不同工段的溶解氧需求,使溶解氧的设定更为合理,曝气能耗进一步降低。

通过溶解氧评价指标可以探测现有溶解氧控制策略的不足,并对溶解氧控制策略作出针对性的修订。在精确曝气控制模式下,将评价指标纳入了溶解氧控制策略内,提高了溶解氧的控制品质。

好氧段推流沿程只设置了 3 台溶解氧仪,因此对推流沿程的溶解氧分布趋势的掌握还略显不足;未来若能通过增加推流沿程的溶解氧测量点数或通过其他方式获得更为详尽的推流沿程溶解氧分布趋势,将为进一步优化溶解氧设定提供依据。

参考文献:

[1] 马勇,彭永臻. 城市污水处理系统运行及过程控制 [M]. 北京:科学出版社,2007.
[2] 周雷. 活性污泥工艺简明原理及设计计算 [M]. 北京:中国建筑工业出版社,2005.
[3] Mogens Henze, Poul Harremoës, Jes Lacouff. 污水生物与化学处理技术 [M]. 国家城市给排水工程技术研究中心译. 北京:中国建筑工业出版社,1999.
[4] Gustaf Olsson, Bob Newell. 污水处理系统的建模、诊断和控制 [M]. 高景峰等译. 北京:化学工业出版社,2005.

电话: 13701948811
E-mail: fan@haocang.com
收稿日期: 2008-12-03